

# **KAEDAH PENGUKURAN INDEK KEBOLEH-SELENGGARAAN BERDASARKAN REKABENTUK UNTUK PEMASANGAN (DFA) – SATU KAJIAN KES**

**Ahmad Baharuddin Abdullah, Amti Samad dan Zaidi Mohd Ripin**

Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik

Universiti Sains Malaysia, Kampus Kejuruteraan

14300 Nibong Tebal, Pulau Pinang

e-mail: mebaha@eng.usm.my

## **Abstrak**

Penyelenggaraan secara umumnya bertujuan untuk menjaga produk atau sistem demi kelangsungan kitar hayatnya. Keboleh-selenggaraan boleh digambarkan sebagai kecekapan operasi penyelenggaraan dan ia bergantung kepada komponen atau bahagian sasaran. Dari segi masa, semakin cepat proses selenggaraan dapat dilakukan maka lebih baik sesuatu produk atau sistem tersebut. Namun demikian jika diperincikan, terdapat banyak faktor lain yang menyumbang kepada masa termasuklah keboleh-capaian dan kedudukan komponen serta jenis pengikat yang digunakan. Kajian ini dijalankan untuk memperincikan kaedah pengukuran indek keboleh-selenggaraan sedia ada. Untuk itu, pendekatan Rekabentuk untuk Pemasangan (DFA) akan digunakan sebagai panduan dalam menghasilkan kriteria pemasangan. Hasil daripada kajian yang telah dijalankan menunjukkan bahawa kriteria pemasangan amat memberi kesan terhadap keboleh-selenggaraan dan terdapat penambah-baikannya yang besar.

Kata kunci: Keboleh-selenggaraan, Rekabentuk untuk Pemasangan, pengikat, kriteria pemasangan, rekabentuk semula

## **Abstract**

Maintenance generally conducted in order to extend lifecycle of the product or system. Maintainability can be described as the measure of maintenance operation efficiency, which depends on location and condition of the targeted parts. In terms of

time, the faster maintenance could be completed the better. Beside that there are several factors that should also be considered including the accesability dan location of the parts and the fasteners used. The objective of this study is to improve the present maintainability index measurement methods. Here, the Design for Assembly is used as a guideline to produce the assembly criteria. The result from the study indicated that, assembly have a great impact to the maintainability and there are a tremendous improvement.

Keywords: Maintainability, Design for Assembly, fastener, assembly criteria, redesign

## 1.0 PENDAHULUAN

Produk/sistem yang berkualiti, murah dan tahan lama adalah antara kriteria utama yang dikehendaki oleh pengguna. Selain itu aspek penjagaan, penyelenggaraan dan pembaikan hendaklah yang paling mudah dan murah juga dipertimbangkan. Untuk tujuan itu pelbagai cara dan kaedah telah dan sedang dibangunkan untuk mencapai semua matlamat ini. Dalam mengukur keboleh-selenggaraan, selain masa faktor-faktor seperti operator dan peralatan bantuan juga penting supaya kerja tersebut dapat dilakukan dengan cepat dan berkesan [1]. Adalah lebih baik sekiranya dalam proses menyelenggara peralatan, yang diperlukan mudah diperolehi dan digunakan serta sesuai untuk pelbagai kegunaan [2]. Masa merupakan kata kunci dan sesuatu yang sangat berharga dalam membuat kerja-kerja penyelenggaraan, pengukuran berasaskan "*Mean Time to Repair*" (MTTR) banyak diguna pakai [3]. Selain daripada itu faktor-faktor lain seperti tribologi juga boleh diambilkira [4]. Walau bagaimanapun, antara masalah yang selalu timbul ialah kemampuan manusia sendiri seperti keboleh-capaian, penglihatan dan kemampuan alat deria lain yang terbatas [5 dan 6]. Namun demikian antara aspek yang mungkin belum dikaji ialah kesan jenis pengikat dan kriteria pemasangan yang secara realitinya lebih praktikal untuk dijadikan kayu pengukur atau indikator dalam mengukur keboleh-selenggaraan sesuatu produk atau sistem

Objektif utama kajian ini ialah mengkaji kesan pemilihan pengikat dan kriteria pemasangan terhadap keboleh-selenggaraan dengan menjadikan garis panduan rekabentuk untuk pemasangan (DFA) [7 dan 8] sebagai rujukan. Kertas kerja ini merangkumi enam bahagian, selepas pendahuluan, kajian ilmiah yang mana lebih

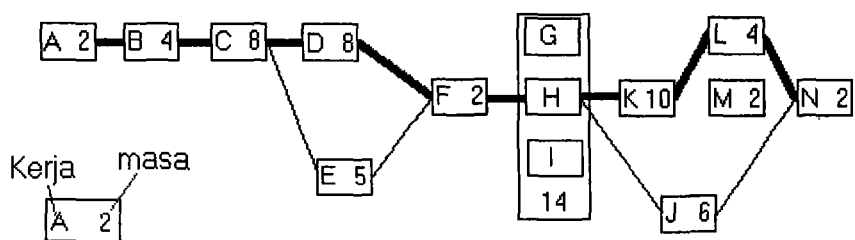
berkisar kepada konsep keboleh-selenggaraan, jenis pengikat yang biasa digunakan di dalam pemasangan dan juga definisi dan penentuan kriteria pemasangan akan dibentangkan. Bahagian seterusnya membincangkan pendekatan yang akan digunakan. Dalam bahagian ke-empat, kajian kes terhadap motor kuasa tingkap kereta akan dijalankan. Bahagian ke-lima membincangkan keputusan yang diperolehi dan kertas kerja diakhiri dengan kesimpulan.

## **2.0 KAJIAN ILMIAH**

### **2.1 Keboleh-selenggaraan**

Penyelenggaraan secara umumnya bertujuan untuk menjaga peralatan, supaya kitar hayatnya dapat dipanjangkan [9 dan 10]. Keboleh-selenggaraan melibatkan ciri-ciri rekabentuk, pemasangan dan operasi dan biasanya keboleh-selenggaraan berkait rapat dengan keboleh-percayaan. Keboleh-selenggaraan boleh digambarkan sebagai kecekapan operator proses penyelenggaraan mencapai komponen atau bahagian yang disasarkan. Di sini beberapa faktor perlu diambilkira contohnya keboleh-capaian dan kedudukan komponen, kekerapan sesuatu komponen perlu diselenggara dan sebagainya. Kedudukan komponen yang mudah dicapai akan menyebabkan kecekapan selenggara meningkat, ini terutamanya komponen yang perlu ditukar secara rutin. Contohnya untuk sebuah kereta bagi setiap 10,000 atau 20,000 km perjalanan, palam pencucuhnya perlu ditukar. Oleh kerana kedudukannya yang berada di luar memudahkannya ditukar atau diselenggara, begitu juga penapis bahan api. Akan tetapi komponen seperti plat brek motorsikal yang terletak di dalam drum memerlukan kerja yang banyak sebelum boleh ditukar.

Laluan Kritikal biasanya digunakan dalam menganalisis proses pemasangan atau sistem pengeluaran sesuatu kilang, lagi pendek laluan dan masa, maka lebih baik sistem itu [11]. Sebagai contoh peta laluan adalah seperti Rajah 1. Garisan tebal menandakan Laluan Kritikal yang menunjukkan laluan terpendek. Pendekatan ini boleh digunakan juga untuk mengukur keboleh-selenggaraan sesuatu produk atau sistem. Kalau dalam pendekatan Laluan Kritikal, aspek utama yang diambilkira ialah bilangan operasi dan masa, tetapi dalam penyelenggaraan, aspek jenis pengikat, dan kekerapan selenggaraan perlu diambil perhatian. Dengan memberikan skor atau pemberat, maka penyelenggaraan dapat diukur dengan mudah dan sistematik.

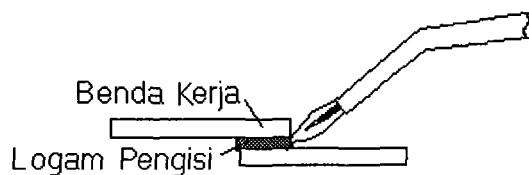


**Rajah 1:** Pendekatan Laluan Kritikal yang biasa digunakan dalam sesuatu sistem pengeluaran

## 2.2 Jenis pengikat

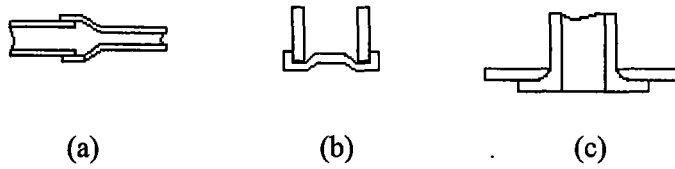
Beberapa aspek perlu diambil kira dalam memilih jenis pengikat. Antara aspek utama ialah jenis sambungan sama ada sambungan tetap atau sementara. Selain itu arah pemasangan, kekuatan pemasangan dan peralatan yang diperlukan untuk operasi pemasangan juga perlu dipertimbangkan. Secara umumnya terdapat sepuluh jenis pengikat yang biasa digunakan iaitu rivet, kimpalan, jahitan logam, klip pegas, pateri, bol dan nat, kimpalan, skru, sentap muat dan perekat yang mana akan dibincangkan dengan lebih terperinci selepas ini [12 dan 13].

(a) *Kimpalan* – Sambungan jenis ini menggunakan logam sebagai medium pelekut antara permukaan benda kerja dengan cara mencairkannya pada suhu tinggi seperti dalam Rajah 2. Terdapat beberapa jenis kimpalan antaranya ialah kimpalan gasa dan arka. Kaedah ini memerlukan pelaburan yang tinggi dan akan menghasilkan sambungan jenis tetap. Sambungan mempunyai kekuatan yang tinggi, ini kerana sambungan menjadi seperti satu bahagian selepas ia sejuk.



**Rajah 2:** Menunjukkan kaedah asas kimpalan dilakukan

Biasanya sambungan jenis ini digunakan untuk menyambungkan pada bahagian hujung atau bucu dan juga bertujuan untuk mengelakkan daripada berlaku kebocoran. Contoh aplikasi adalah seperti dalam seperti Rajah 3.



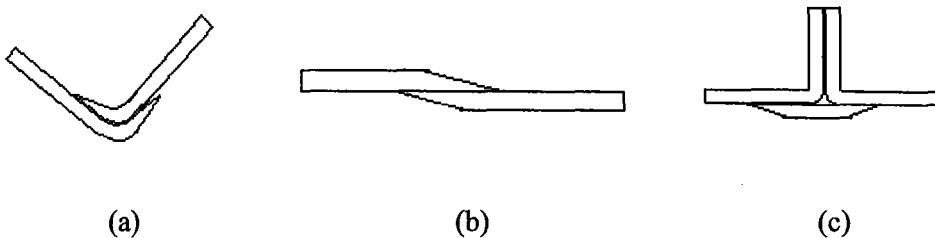
**Rajah 3:** Antara contoh sambungan jenis kimpalan

(b) *Pateri* – Sambungan jenis ini juga menggunakan logam pengisi. Biasanya logam pengisi yang digunakan mempunyai takat lebur yang lebih rendah. Secara umumnya kaedah pateri hampir sama dengan kimpalan. Rajah 4 menunjukkan contoh aplikasi pengikat jenis pateri.



**Rajah 4:** Jenis sambungan yang biasa digunakan kaedah pateri

(c) *Ikatan Pelekat* – Biasa digunakan untuk aplikasi tugas sederhana atau rendah seperti peralatan rumah, kasut, kayu lapis, buku dan sebagainya. Terdapat pelbagai jenis pelekat di pasaran dan ciri-ciri yang terdapat pada pelekat boleh dipilih berdasarkan kegunaannya.



**Rajah 5:** Antara jenis sambungan pada ikatan perekat

(d) *Rivet* – Merupakan antara jenis pengikat yang paling banyak digunakan, contohnya terdapat beratus mungkin beribu rivet digunakan untuk membina kapal terbang. Lubang perlu disediakan terlebih dahulu untuk memasang rivet di mana rivet tersebut akan dimasukkan ke dalam lubang tersebut dan hujungnya akan ditekan untuk membuat bentuk separuh bulat, seperti dalam Rajah 6. Kekuatan

sambungan ini juga sederhana dan merupakan sambungan yang separa tetap. Walaupun dapat ditanggalkan, biasanya permukaan sambungan benda kerja akan rosak. Oleh itu dalam kajian ini, ia dianggap sebagai sambungan jenis tetap.



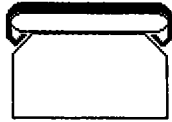
**Rajah 6:** Menunjukkan bagaimana rivet ditekan dan mengikat benda kerja

(e) *Jahitan logam dan mengikat* – Biasanya digunakan untuk mengikat kepingan nipis, operasi ini sangat pantas dan biasanya ia tidak memerlukan lubang pada komponen yang hendak dijahit tersebut seperti dalam Rajah 7. Pengikat jenis ini juga dikira sebagai sambungan jenis tetap oleh kerana ciri benda kerja adalah hampir sama dengan pengikat jenis rivet.



**Rajah 7:** Bentuk jahitan logam atau mengikat

(f) *Klip spring dan sentap muat* – Ianya digunakan secara meluas di dalam sektor otomotif. Biasanya ikatan jenis ini tidak menggunakan peralatan untuk memasangnya, namun untuk melerainya kadang-kadang memerlukan peralatan khas. Contoh aplikasi seperti dalam Rajah 8. Pengikat jenis ini memberi banyak kelebihan kepada sambungan. Selain dapat menjimatkan kos, kekuatan sambungan juga baik.



(a) Penutup logam



(b) Kelip pegas

**Rajah 8:** Contoh pengikat jenis klip

### 2.3 Kriteria Pemasangan

Secara umumnya dalam operasi pemasangan terdapat lapan kriteria yang perlu diambil kira. Kriteria ini akan dijadikan panduan atau asas dalam pembangunan indeks keboleh-selenggaraan. Kriteria tersebut ialah:

- 1 **Peralatan** – Dalam setiap kerja penyelenggaraan, peralatan atau perkakasan yang diperlukan merupakan antara perkara yang paling penting. Penyelenggaraan boleh dilakukan sama ada tanpa menggunakan peralatan, penggunaan alatan biasa atau sesetengahnya memerlukan peralatan khas.
- 2 **Arah Pemasangan** – Berdasarkan garis panduan rekabentuk untuk pemasangan (DFA), arah pemasangan perlulah semimumimum yang mungkin dan arah yang paling ideal ialah daripada atas atau paksi-y. Ini kerana dengan meminimumkan arah pemasangan, keboleh-capaian sesuatu komponen adalah lebih tinggi selain peleraian dapat dilakukan dengan mudah [7 dan 8]. Ketepatan sambungan juga boleh dilakukan dengan mudah dengan bantuan graviti.
- 3 **Kos** – Kos yang dimaksudkan di sini ialah kos peralatan. Sebagai contoh kos untuk kimpalan adalah tinggi secara relatif, namun untuk aplikasi jangka panjang, ia merupakan antara yang paling ekonomi. Manakala kos bagi bol dan nat dikira murah, namun keperluan kepada spesifikasi tertentu menyebabkan ia sukar didapati dan kos menjadi tinggi. Untuk itu pemilihan yang betul perlu dilakukan untuk memastikan kos yang optimum pada kegunaan yang paling maksimum.
- 4 **Keboleh-tahanan** – Keboleh-tahanan boleh dinilai dari segi ketahanan sambungan. Ketahanan yang dimaksudkan di sini ialah kemampuan bertahan terhadap aplikasi tegasan dan daya yang dikenakan terhadapnya.

- 5 **Kitar semula** – Kitar semula yang dimaksudkan ialah pemanjangan hayat produk atau komponen sama ada melalui penggunaan semula secara terus atau dengan melibatkan proses-proses tertentu. Contohnya hasil kimpalan boleh dikitar semula dengan cara meleburkannya bersama benda kerja, begitu juga untuk rivet, yang mana boleh dikitar semula selepas dileraikan. Manakala pengikat jenis bol dan nat, ia boleh terus digunakan pada tempat lain asalkan spesifikasinya sama. Kes yang sama juga digunakan untuk pengikat jenis klip.
- 6 **Bentuk sambungan** – Dalam operasi pemasangan, terdapat jenis sambungan iaitu sambungan tetap dan sambungan sementara. Terdapat juga sambungan jenis separa-tetap, namun kebiasaannya peleraian akan menyebabkan kerosakan pada permukaan benda-kerja contohnya sambungan jenis rivet.
- 7 **Keboleh-leraian** – Ini boleh digambarkan sebagai kebolehan sesuatu produk atau sistem itu dipecahkan atau dileraikan ke dalam bentuk yang lebih ringkas [14]. Sebahagian produk atau sistem boleh dileraikan sepenuhnya satu persatu, manakala yang lain hanya boleh dileraikan sebahagian sahaja. Namun demikian terdapat juga kes-kes di mana sambungan atau pemasangan tidak boleh dileraikan langsung contohnya sambungan menggunakan kaedah kimpalan.
- 8 **Pemasangan semula** – Kriteria ia merupakan perkara yang paling penting dan ia dilakukan selepas sesuatu servis atau penyelenggaraan dilakukan. Sesetengah pemasangan semula boleh dilakukan secara terus dan ada yang memerlukan proses tambahan yang minor seperti meletakkan minyak gris. Akan tetapi ada keadaan di mana pemasangan semula memerlukan proses tambahan minor seperti pencucian menggunakan bahan kimia dan kemudian pemasangan gasket sebelum pemasangan boleh dilakukan.

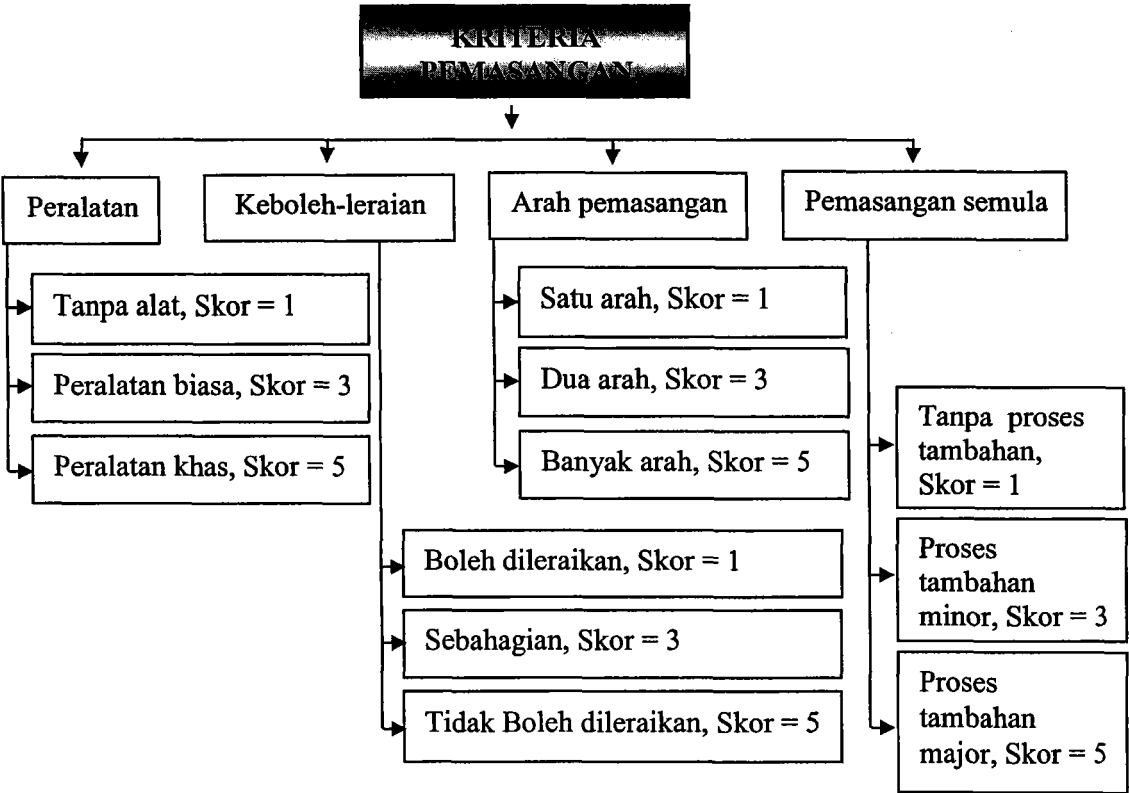
### 3.0 PENDEKATAN

Dalam kajian ini, pendekatan yang digunakan melibatkan tiga langkah utama iaitu definisi kriteria pemasangan, peleraian dan penentuan kaedah sambungan dan akhir sekali pengiraan indek keboleh-selenggaraan. Perincian akan dibincangkan selepas ini.



3.1 Definasi Kriteria Pemasangan

Untuk kes penyelenggaraan hanya empat kriteria telah dikenalpasti sesuai dan relevan dan kriteria-kriteria tersebut adalah seperti yang diringkaskan dalam Rajah 9. Berdasarkan gambaran kriteria pemasangan yang telah diterangkan pada bahagian 2.3, skor atau pemberat diberikan. Skor 1, 3 dan 5 diberikan bagi mewakili kriteria yang baik, pertengahan dan teruk. Ini untuk membolehkan pengiraan kecekapan boleh dilakukan secara kuantitatif dengan cara yang lebih sistematik.

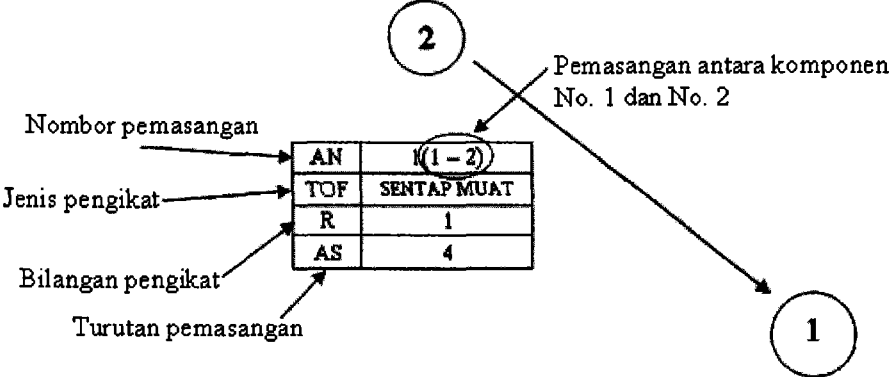


Rajah 9: Carta kriteria pemasangan

3.2 Peleraian dan Penentuan Kaedah Pemasangan.

Setelah kriteria pemasangan ditentukan, peleraian dilakukan keatas produk. Untuk memudahkan pengiraan skor dan gambaran struktur pemasangan produk Digraf Peleraian akan digunakan. Konsep yang digunakan adalah seperti konsep Laluan Kritikal namun sedikit penambah-baikannya dilakukan untuk disesuaikan dengan operasi penyelenggaraan. Digraf Peleraian boleh digambarkan sebagai suatu struktur yang menggunakan petunjuk anak panah untuk menunjukkan arah pemasangan dan nombor

komponen yang hendak dileraikan. Pada setiap pergerakan anak panah tercatat bilangan pemasangan, AN yang menandakan turutan komponen dileraikan dan arah antara muka komponen tersebut, manakala TOF dan R masing-masing untuk jeni pengikat yang digunakan dan bilangannya. AS pula adalah untuk skor yang terapat pada pemasangan tersebut. Rajah 10 menunjukkan gambaran struktur Digraf Peleraian yang dimaksudkan. Kemudian daripada digraf peleraian, kaedah pemasangan dapat ditentukan dan daripada sepuluh jenis pengikat yang lazimnya digunakan untuk pemasangan, hanya tujuh sahaja yang digunakan. Pengiraan skor bagi setiap pengikat adalah seperti yang diringkas dalam Rajah 11.



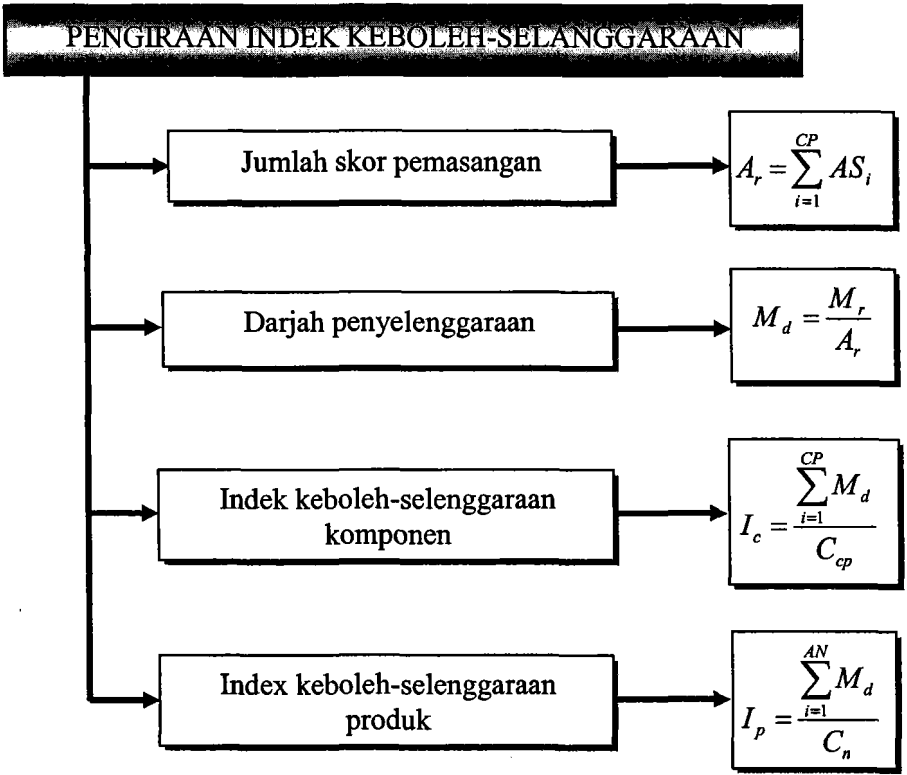
Rajah 10: Struktur asas Digraf Peleraian

PEMBERAT PEMASANGAN				
	Skor 3	Skor 3	Skor 1	Skor 1
Skr	3	3	1	1
Bolt dan nut	3	3	3	5
Rivet	5	1	1	3
Sentak muat	1	1	1	1
Jahitan	3	1	1	1
Menjelekat	5	5	5	3
Pelekat	3	1	5	3

Rajah 11: Carta pengiraan skor pengikat

### 3.3 Pengiraan Indeks Keboleh-Selenggaraan

Nilai 0 dan 1 digunakan untuk setiap komponen bagi mengukur darjah penyelenggaraan, di mana 0 mewakili darjah penyelenggaraan yang rendah manakala 1 mewakili darjah penyelenggaraan yang terbaik. Ini amat bergantung kepada kekerapan penyelenggaraan sesuatu komponen dan laluan kritikal. Contohnya, komponen yang walaupun mempunyai kekerapan selenggaraan yang tinggi, namun kedudukan komponen yang agak tersembunyi menyebabkan darjah penyelenggaraannya menjadi rendah. Begitu juga di dalam pengiraan indeks keboleh-selenggaraan yang juga diukur berdasarkan purata darjah penyelenggaraan komponen yang terdapat di dalam sesuatu produk atau sistem. Rajah 12 menggariskan perhubungan yang digunakan dalam pengiraan indeks keboleh-selenggaraan. Penerangan lanjut mengenai pembangunan perhubungan ini boleh merujuk kepada kajian sebelum ini [15]. Seterusnya berdasarkan perhubungan ini, satu Carta Penilaian Penyelenggaraan (MEC) telah dibangunkan untuk memudahkan pengiraan. Rajah 13 menunjukkan Carta Penilaian Penyelenggaraan (MEC).



Rajah 12: Perhubungan dalam pengiraan indeks keboleh-selenggaraan

Dimana

$MT$  = Kekerapan penyelenggaraan (Amat Jarang = 1, Sese kali = 2, Kerap = 3,  
Amat Kerap = 4)

$CP$  = Laluan kritikal nombor integer, (  $i = 1, 2 \dots n$  )

$AS_i$  = Skor pemasangan untuk pemasangan ke- $i$

$AN$  = Bilangan pemasangan

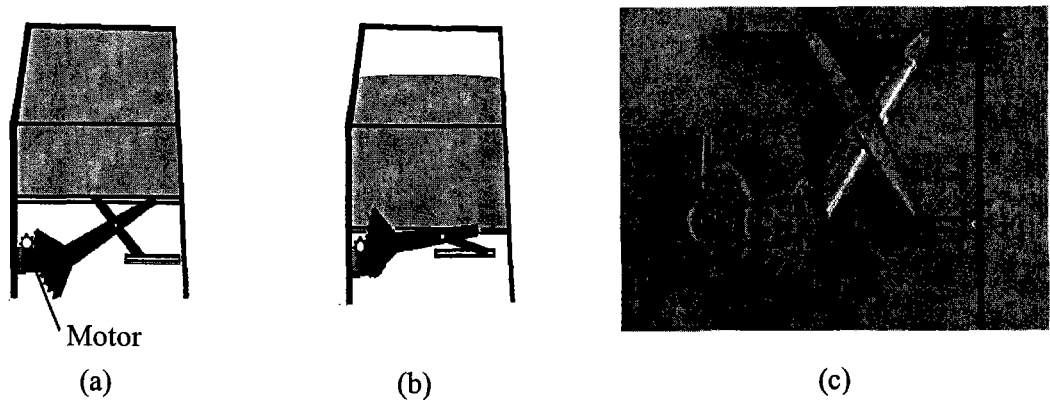
$C$  = Jumlah komponen keseluruhan produk

No. Komp.	Nama Komponen	Kekerapan Penyelenggaraan, $M_i$	Laluan Kritikal, $CP$	Skor Pemasangan, $A_i$	Darjah Penyelenggaraan, $M_d$
1	Reruang Stator	2	6	32	0.0625
2	Stator	1	5	28	0.0357
3	Rotor	1	4	24	0.0417
4	Pin Rotor	2	3	20	0.1000
5	Pemegang Rotor	1	2	16	0.0625

Rajah 13: Carta piawai yang digunakan dalam pengiraan indek penyelenggaraan

4.0 KAJIAN KES

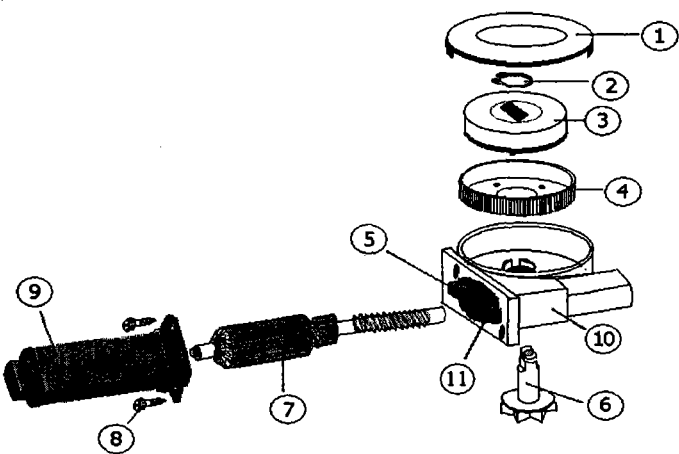
Motor bagi tingkap kuasa biasanya digunakan untuk aplikasi menaik dan menutup tingkap sesebuah kereta. Motor kuasa memerlukan banyak penyelenggaraan kerana ia merupakan gabungan antara alatan mekanikal dan elektrik, selain itu kegunaan yang kerap boleh menyebabkan kerosakan pada produk. Mekanisma menaik dan menurun bagi sesebuah tingkap kereta adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 14 (a) dan (b), manakala Rajah 14 (c) menunjukkan pemasangan dan kedudukan sebenar motor dan modul tingkap kuasa.



Rajah 14: Keadaan motor tingkap kuasa ketika (a) menutup, (b) membuka dan (c) kedudukan sebenarnya.

4.1 Rekabentuk asal

Kajian kes yang dijalankan adalah untuk menunjukkan kesan penukaran jenis pengikat dan kriteria pemasangan terhadap komponen untuk meningkatkan kecekapan penyelenggaraan sesuatu produk. Motor tingkap kuasa kereta secara umumnya mempunyai 11 komponen. Gambarajah terlerai motor tersebut beserta senarai nama komponen yang terdapat adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 15.

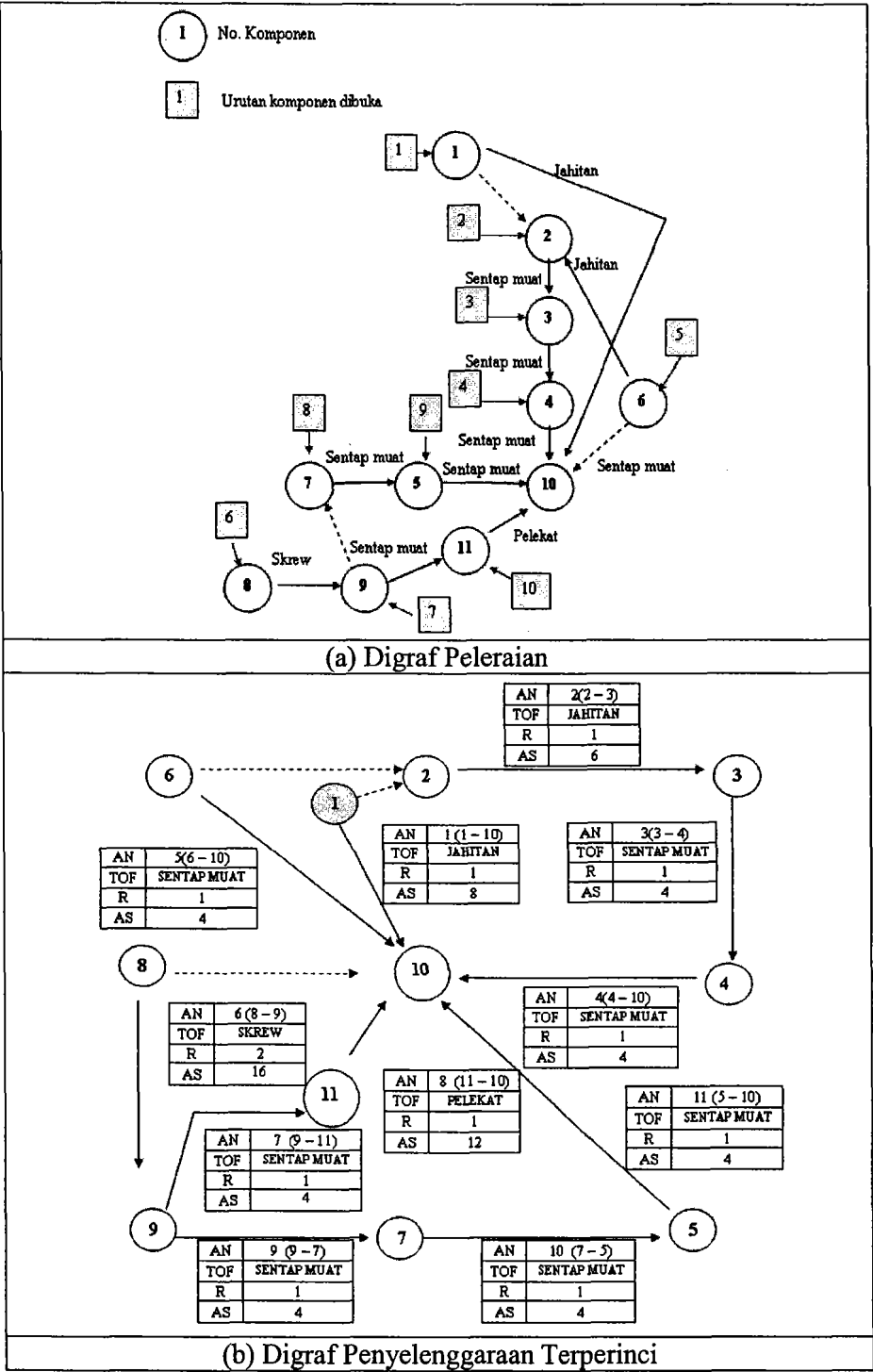


Komp.	Nama Komponen	Komp.	Nama Komponen
1	Penutup gear	7	Armature
2	Klip pin	8	Skru
3	Penyerap kilas	9	Perumah armature
4	Gear tengah	10	Badan motor
5	Berus karbon	11	Gam kalis air
6	Gear pemacu		

Rajah 15: Penamaan dan pandangan tercerai komponen tingkap kuasa kereta

Seterusnya struktur peleraian komponen akan ditunjukkan dalam bentuk digraf seperti dalam Rajah 16(a). Selepas itu, jenis pengikat dan skor ditentukan untuk pengiraan Indeks Penyelenggaraan. Rajah 16(b) memperincikan Digraf Peleraian (Digraf Penyelenggaraan Terperinci) dengan memberikan semua keadaan peleraian tersebut, antaranya bilangan turutan pemasangan (TOF), nombor dan turutan pemasangan dan skor bagi setiap pemasangan. Selepas dibuat pengiraan, didapati darjah penyelenggaraan atau skor agak rendah. Berdasarkan Jadual 1, beberapa komponen telah memberi kesan yang besar, contohnya perumah amature (No. 9) telah menggunakan 2 skru dan ini menyebabkan skor pemasangan menjadi tinggi. Begitu juga apabila terdapat penggunaan gam kalis air antara badan motor (No. 10) dan

perumah armature (No. 9) menyebabkan skor pemasangan menjadi terlalu tinggi. Ini kerana faktor pemasangan semula yang memerlukan proses tambahan yang major. Terdapat juga dua bahagian yang menggunakan jahitan yang juga menyumbang kepada peningkatan jumlah skor dan seterusnya menurunkan darjah penyelenggaraan.



AN

4(4-10)

TOF

SENTAP MUAT

R

1

AS

4

3

10

4

10

10

10

AN

6(8-9)

TOF

SKREW

R

2

AS

16

8

11

9

11

11

11

AN

7(9-11)

TOF

SENTAP MUAT

R

1

AS

4

9

11

11

11

11

11

AN

8(11-10)

TOF

PELEKAT

R

1

AS

12

10

11

11

11

11

11

AN

11(5-10)

TOF

SENTAP MUAT

R

1

AS

4

5

10

10

10

11

10

AN

9(9-7)

TOF

SENTAP MUAT

R

1

AS

4

9

7

7

7

7

7

AN

10(7-5)

TOF

SENTAP MUAT

R

1

AS

4

7

5

5

5

5

5

(b) Digraf Penyelenggaraan Terperinci

Rajah 16: Struktur (a) Digraf Peleraian dan (b) Digraf Penyelenggaraan Terperinci motor tingkap sebelum penambah-baikan

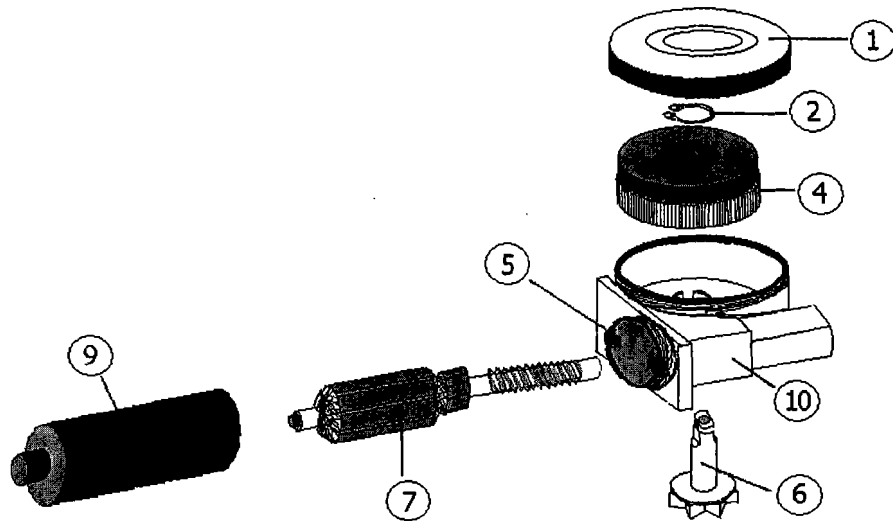
**Jadual 1:** Keputusan keseluruhan analisis keboleh-leraian sebelum rekabentuk semula menggunakan Carta Pernilaian Penyelenggaraan (MEC)

Komponen	Nama Komponen	Kekerapan	Laluan	Skor	Darjah
		Penyelenggaraan $M_r$	Kritikal $CP$	Pemasangan $A_r$	Penyelenggaraan $M_d$
1	Penutup gear	2	1	8	0.250
2	Clip pin	1	2	14	0.071
3	Penyerap kilas	1	3	18	0.055
4	Gear tengah	2	4	22	0.091
5	Berus karbon	2	4	28	0.071
6	Gear pemacu	1	5	26	0.038
7	Armature	2	3	24	0.083
8	Skrew	3	1	16	0.187
9	Perumah armature	1	2	24	0.041
10	Badan motor	1	11	70	0.014
11	Gam kalis air	3	3	32	0.094
JUMLAH		19		282	0.995

Untuk memperbaiki darjah penyelenggaraan dan seterusnya indek keboleh-selenggaraan, maka rekabentuk baru diperlukan.

**4.2 Rekabentuk baru**

Rekabentuk semula dilakukan berdasarkan pendekatan Prosedur Leraian dan Operasi (SOP) yang telah dibangunkan dalam kerja sebelum ini [15]. Keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa terdapat beberapa komponen yang boleh dicantumkan untuk mengurangkan jumlah komponen motor tingkap kuasa kereta ini kepada 9 komponen daripada 11 komponen sebelum ini. Rajah 17 menunjukkan rajah skematik hasil akhir yang diperolehi di mana komponen No. 3 dan No. 8 boleh dihapuskan.

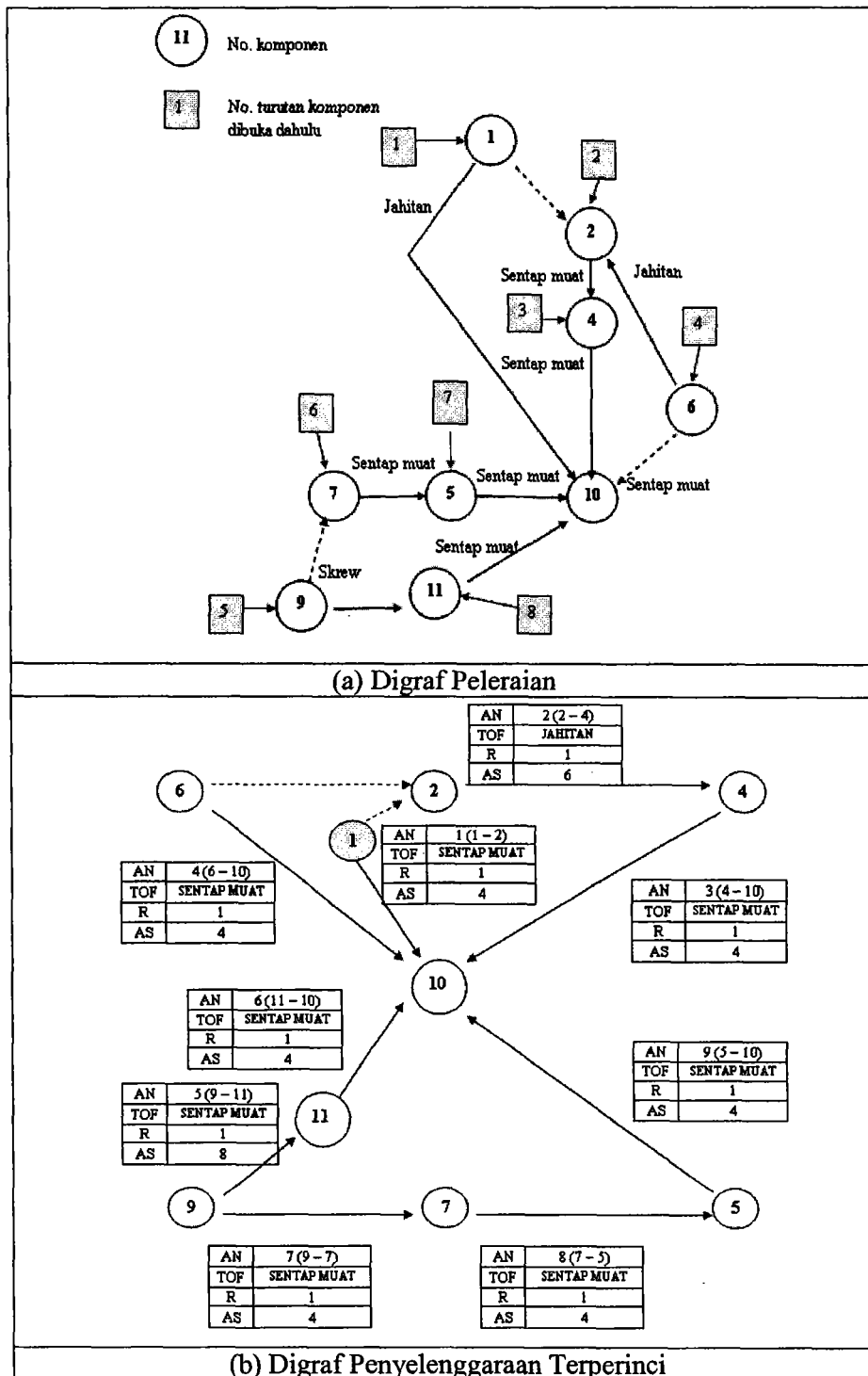


Kom #	Nama Komponen	Kom #	Nama Komponen
1	Penutup gear	7	Armature
2	Clip pin	8	-
3	-	9	Perumah armature
4	Gear tengah	10	Badan motor
5	Berus karbon	11	Gelang getah
6	Gear pemacu		

**Rajah 17:** Komponen terburai tingkap kuasa kereta.

Selepas rekabentuk semula, proses yang sama diulangi dan didapati melalui Digraf Peleraian menunjukkan bagi rekabentuk baru skor pemasangan telah dapat dikurangkan dengan banyak dan ini akan menyebabkan peningkatan darjah penyelenggaraan. Pada rekabentuk baru ini komponen No. 3 dan komponen No. 4 telah disatukan dan menukarkan bentuk perumah amature kepada bentuk bulat dan menggunakan pengikat jenis skru bebenang pada bahagian dalam, manakala antara perumah armature, gelang getah digunakan sebagai penghadang air. Kes yang sama juga dilakukan terhadap untuk penutup gear. Rajah 18 (a) dan (b) menunjukkan Digraf Peleraian dan Digraf Penyelenggaraan Terperinci dan Jadual 2 merumuskan keputusan kuantitatif yang diperolehi.





**Rajah 18: Struktur (a) Digraf Peleraian dan (b) Digraf Penyelenggaraan Terperinci motor tingkap selepas penambah-baikan**

**Jadual 2:** Keputusan setelah rekabentuk baru dihasilkan

Komponen	Nama Komponen	Kekerapan	Laluan	Skor	Darjah
		Penyelenggaraan $M_r$	Kritikal $CP$	Pemasangan $A_r$	Penyelenggaraan $M_d$
1	Penutup gear	2	1	4	0.500
2	Clip pin	1	2	10	0.100
3	Penyerap kelas	X	X	X	X
4	Gear tengah	2	3	14	0.143
5	Berus karbon	2	3	12	0.167
6	Gear pemacu	1	4	18	0.055
7	Armature	2	2	8	0.250
8	Skr	X	X	X	X
9	Perumah armature	1	1	4	0.250
10	Badan motor	1	8	38	0.026
11	Gelang getah	2	2	8	0.250
JUMLAH		14		116	1.741

5.0 PERBINCANGAN

Dengan menggunakan perhubungan dan pertimbangan kriteria yang telah dibincangkan, maka keputusan daripada kajian, dapat diringkaskan dalam Jadual 3. Carta Penilaian Penyelenggaraan (MEC) digunakan untuk menunjukkan secara keseluruhan keputusan hasil prosedur penilaian analisis yang telah dijalankan. Carta ini boleh digunakan sebagai carta atau jadual piawai penilaian keboleh-selenggaraan sesuatu sistem atau produk. Daripada carta ini juga indek keboleh-selenggaraan sesuatu komponen di dalam sesuatu produk dapat diukur secara kuantitatif dengan lebih mudah dan sistematik.

Daripada kajian keboleh-selenggaraan produk telah ditingkatkan. Ini dapat dilihat melalui prosedur rekabentuk semula yang telah dilakukan. Dalam kajian ini juga, perubahan dalam bentuk menghapuskan dan menggabungkan komponen pada 3 komponen yang didapati mempunyai skor penyelenggaraan tertinggi dapat mengurangkan jumlah komponen dan jarak laluan kritikal operasi penyelenggaraan. Terdapat juga beberapa komponen dalam produk yang memerlukan pengulangan kerja sebanyak 2 kali atau kerja lebih untuk membolehkan peleraian, contohnya penggunaan skru yang banyak serta kaedah penyambungan yang kompleks. Kesan daripada tindakan ini, akan menyebabkan peningkatan skor penyelenggaraan. Rekabentuk baru

didapati telah dapat mengurangkan masalah ini. Sebelum pengubahsuaian dilakukan, jumlah keseluruhan skor peleraian ialah 282 dan selepas rekabentuk baru dihasilkan terdapat pengurangan sebanyak 143% kepada 116 sahaja. Darjah penyelenggaraan juga didapati telah meningkat, daripada pengurangan komponen di mana sebelum rekabentuk semula keputusannya ialah 0.995 telah meningkat kepada 1.741 atau penambah-baikannya sebanyak 74.9%. Indek keboleh-selenggaraan telah dapat ditingkatkan sebanyak 120% daripada 0.099 kepada 0.218, begitu juga jumlah pemasangan yang telah dapat dikurangkan dengan penambah-baikannya sebanyak 25%.

**Jadual 3:** Penambah-baikannya sebelum dan selepas rekabentuk semula motor tingkap kuasa

	Rekabentuk Asal	Rekabentuk Baru	Penambah- baikannya
Jumlah keseluruhan skor pemasangan	282	116	143%
Jumlah keseluruhan darjah penyelenggaraan	0.995	1.741	74.9%
Indek keboleh-selenggaraan	0.099	0.218	120%
Jumlah pemasangan	10	8	25%

**6.0 KESIMPULAN**

Pendekatan Rekabentuk untuk Pemasangan (DFA) merupakan kaedah pengubahsuaian yang dapat meningkatkan prestasi penyelenggaraan sesuatu produk dan ia juga merupakan kaedah yang mudah difahami. Dengan membuat pengubahsuaian seperti menukar jenis pengikat atau pengurangan jumlah komponen telah menunjukkan impak yang besar dalam meningkatkan keboleh-selenggaraan komponen, seterusnya meningkatkan indeks keboleh-selenggaraan produk atau sistem. Pendekatan yang telah dibina ini amat mudah difahami dan lebih praktikal berbanding kaedah lain. Untuk kerja masa depan, perisian akan dibina dalam membantu pengiraan dan penilaian indeks keboleh-selenggaraan ini.

**PENGHARGAAN**

Penulis ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada Universiti Sains Malaysia kerana peruntukan yang diberikan melalui Geran Penyelidikan Jangka Pendek USM (Akaun: 6035101).

## RUJUKAN

1. Wani, M.F. dan Gandhi, O.P. Development of Maintainability Index for Mechanical Systems. *Reliability Eng. and Sistem Safety*. 65(1999) 259-270.
2. Vujosevic, R. Maintainability Analysis in Concurrent Engineering of Mechanical Sistem. *CERA*. 3(1) (1995)61-73.
3. Utez, H. Maintainability of Production Sistem, *Maintenance Management International*, 4(1983)55-68.
4. Wani, M.F. dan Gandhi, O.P. Maintainability Design and Evaluation of Mechanical Systems Based on Tribology, *Reliability Eng. and Sistem Safet*, 77 (2002)181-188.
5. Clark, G.E. and Paasch, R.K. Diagnostic Modeling and Diagnosability Evaluation of Mechanical Systems. *J. Mech. Design*, I 18(1) (1996)425-431.
6. Parseh, R.K. dan Ruff, D.N. Evaluation of Failure Diagnosis in Conceptual Design of Mechanical Sistem. *J. Mech. Design*, 119(1) (1997) 57-67.
7. Andreasen, M., Kahler, S., Swift, K. and Lund, T., *Design for Assembly*, 2<sup>nd</sup> Edition, IFS Publications Ltd., UK and Springer-Verlag, New York, 1988.
8. Boothroyd, G. and Dewhurst, P., *Product Design for Assembly*, Mc Graw Hill, Inc. New York, 1989.
9. Balanchard, B.S., Verma, D. dan Peterson, E.L Maintainability, Wiley and Sons, New York, 1995.
10. Cunningham, C.E. dan Cox, W. Applied Maintainability Engineering, Wiley and Sons, New York, 1972.
11. Stevenson, W. J.. Production and Operation Management. Irwin: Mc-Graw Hill, 4th Edition. 1993.
12. Kalpakjian S. Manufacturing Engineering and technology, 3<sup>rd</sup> Edition, Addison Wesley Publishing Company, New York, (1995).
13. Lindbeck, J. R, Product Design and Manufacturer, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1995
14. Tsai, Y.T., Wang, K.S. dan Lo, S.P. A Study of Modularity Operation of Systems Based on Maintenance Consideration. *J. Eng. Design*, 14(1) (2003)41-56.
15. Abdullah, A. B., Ripin, Z. M. dan Mokhtar, M. Design Efficiency Based on Assembly Criteria in Support of Design for Modularity. *IEM Journal*, to appear in 66(3) (2005).